

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Энергетический
Специальность: 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Тема работы
ПРОЕКТ ПАРОГЕНЕРАТОРА СЛАБО ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-440

УДК 621.311.25:621.039.524.002.5.001.6(470.21)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Кель Вера Андреевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры АТЭС	А.В. Воробьев	к.т.н., доцент		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры менеджмента	С.И. Сергейчик	к.т.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности	Ю.А. Амелькович	к.т.н., доцент		

По разделу «Автоматизация технологических процессов и производств»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент кафедры автоматизации тепло- энергетических про- цессов	В.С. Андык	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ст. преподаватель ка- федры АТЭС	М.А. Вагнер	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. Кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
атомных и тепловых электростанций	А.С. Матвеев	к.т.н., доцент		

Томск – 2017 г.

Запланированные результаты обучения выпускника образовательной программы 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг, специализация подготовки «Проектирование и эксплуатация атомных станций»

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	Универсальные компетенции	
P1	Использовать методологические основы современной картины мира для научного познания и творчества, выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК- 1, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Анализировать социально-значимые процессы и явления, экономические проблемы и общественные процессы, ответственно участвовать в общественно-политической жизни, применять методы социального взаимодействия на основе принятых моральных и правовых норм	Требования ФГОС (ОК-2, 5, 9), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и публично защищать результаты, владеть методами пропаганды научных достижений	Требования ФГОС (ОК-3 – 5), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Использовать системный подход в профессиональной деятельности, ставить цели и выбирать пути их достижения, обобщать, анализировать, критически осмысливать, систематизировать	Требования ФГОС (ОК-6, ПК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Осознавать необходимость и демонстрировать способность к самостоятельному обучению в течение всей жизни, непрерывному самосовершенствованию, развитию социальных и профессиональных компетенций, использовать полученные знания для обучения и воспитания новых кадров	Требования ФГОС (ОК-7 ПК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	К достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности и должного уровня безопасности жизнедеятельности, в том	Требования ФГОС (ОК-8; ОПК-1, ПК-7, 19), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласован-

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	числе, защиты персонала и населения от последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий	ный с требованиями между- народных стандартов <i>EUR- ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально и в коллек- тиве, в том числе, многонациональном, принимать ответственность за свои решения, в том числе, не- стандартные, управлять коллективом, находить ор- ганизационно-управленческие решения в нестан- дартных ситуациях	Требования ФГОС (ОК-10, 13, 14, ПК-3), Критерий 5 АИОР (пп.2.3, 2.4), согласо- ванный с требованиями меж- дународных стандартов <i>EUR- ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Использовать информационные технологии для ра- боты с информацией, управления ею и создания но- вой информации; работать с информацией в глобаль- ных компьютерных сетях, осознавать и соблюдать основные требования информационной безопасно- сти	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-2, 6, 13, 26, ПСК-1.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), со- гласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
	Профессиональные компетенции	
P9	Понимать значимость своей специальности, стре- миться к ответственному отношению к своей трудо- вой деятельности, демонстрировать особые компе- тенции, связанные с уникальностью задач, объектов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ПК-4), Критерий 5 АИОР (п. 1.6), со- гласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать глубокие математические, естествен- нонаучные знания в профессиональной деятельно- сти с применением математического моделирования объектов и процессов в области проектирования и эксплуатации АС	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-9 – 11), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованные с требованиями междунаро- дных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	Проводить <i>инновационные</i> научные исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участ- вовать во внедрении результатов исследований	Требования ФГОС (ОПК-2, ПК-5, 9, 14, 15, 16), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласован- ный с требованиями между- народных стандартов <i>EUR- ACE</i> и <i>FEANI</i>
P12	Анализировать и использовать научно-техническую информацию, формулировать цели проекта, ставить и решать инновационные задачи <i>комплексного</i> инже- нерного анализа в области проектирования и эксплу- атации АС	Требования ФГОС (ПК-12; 17, 20), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требо- ваниями международных

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
		стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P13	Выбирать, создавать и использовать оборудование атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, средства измерения теплофизических параметров и автоматизированного управления, защиты и контроля технологических процессов	Требования ФГОС (ОПК-3, ПК-18), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P14	Проводить предварительное технико-экономическое обоснование проектных разработок систем и оборудования АС и ядерных энергетических установок, готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений, выполнять <i>инновационные</i> инженерные проекты с применением <i>базовых</i> и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов с учетом принципов и средств обеспечения ядерной и радиационной безопасности	Требования ФГОС (ПК-20, 21, 23 – 25, ПСК-1.5, 1.6, 1.8, 1.10), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P15	Разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформлять законченные проектно-конструкторские работы в области проектирования АС	Требования ФГОС (ПК-22), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P16	Анализировать нейтронно-физические, технологические процессы и алгоритмы контроля, диагностики, управления и защиты, проводить нейтронно-физические, теплогидравлические и прочностные расчеты оборудования АС и его элементов в стационарных и нестационарных режимах работы	Требования ФГОС (ПК-27, 28, ПСК-1.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P17	Делать оценку ядерной и радиационной безопасности при эксплуатации ядерных энергетических установок, а также при обращении с ядерным топливом и другими отходами	Требования ФГОС (ПК-29), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P18	Применять основы обеспечения оптимальных режимов работы ядерного реактора, тепломеханического оборудования и энергоблока АС в целом при пуске, останове, работе на мощности и переходе с одного	Требования ФГОС (ПК- 28, 10, 11, , ПСК-1.14, 1.15), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
	уровня мощности на другой с соблюдением требований безопасности, выполнять типовые операции по управлению реактором и энергоблоком на функционально-аналитическом тренажере	международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P19	Анализировать технологии монтажа, ремонта и демонтажа оборудования АС применительно к условиям сооружения, эксплуатации и снятия с эксплуатации энергоблоков АС	Требования ФГОС (ПК-13,14), Критерий 5 АИОР (п. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P20	Осуществлять и анализировать технологическую деятельность как объект управления, организовывать рабочие места, обеспечивать их техническое оснащение, размещать технологическое оборудование, контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживать технологическое оборудование, исследовать причины его неисправностей, принимать меры по их устранению	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (п. 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P21	Составлять техническую документацию и организовывать экспертизу технической документации, составлять установленную отчетность по утвержденным формам, управлять малыми коллективами исполнителей, планировать работу персонала и фонды оплаты труда	Требования ФГОС (ПСК-1.9), Критерий 5 АИОР (пп. 2.2, 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P22	Выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов ядерных энергетических установок, проводить анализ производственных затрат на обеспечение необходимого качества продукции	Требования ФГОС (ПСК-1.11), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P23	Составлять и использовать тепловые схемы и математические модели процессов и аппаратов ядерно-энергетических и тепломеханических установок различных типов АС, готовить исходные данные для расчета тепловых схем	Требования ФГОС (ПСК-1.1, 1.3, 1.7), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Код ре- зуль- тата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р24	Проводить физические эксперименты на этапах физического и энергетического пуска энергоблока с целью определения нейтронно-физических параметров реакторной установки и АС в целом	Требования ФГОС (ПСК-1.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р25	Применять на практике принципы организации эксплуатации современного оборудования и приборов АС, понимать принципиальные особенности стационарных и переходных режимов реакторных установок и энергоблоков и причины накладываемых ограничений при нормальной эксплуатации, при её нарушениях, при ремонте и перегрузках	Требования ФГОС (ПК-8, ПСК-1.12, 1.13), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Институт: Энергетический
 Специальность: 14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг
 Кафедра: Атомных и тепловых электростанций

УТВЕРЖДАЮ:
 Зав. кафедрой АТЭС ЭНИН
 А.С. Матвеев

 (Подпись)

 (Дата)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5012	Кель Вере Андреевне

Тема работы:

ПРОЕКТ ПАРОГЕНЕРАТОРА СЛАБО ПЕРЕГРЕТОГО ПАРА ДЛЯ ЭНЕРГОБЛОКА ВВЭР-440

Утверждена приказом директора (дата, номер)	11.11.2016 г. №9734
---	----------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	23 января 2017 г.
--	--------------------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Объект проектирования – парогенератор энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-440. Режим работы – непрерывный. Исходные данные для расчета – Основные технические характеристики ПГВ-213 Прототип– ПГВ-213 Источник тепла – ядерный реактор ВВЭР-440. Климатические условия – г. Полярные Зори.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Сформулировать цели и задачи проектирования. 2. Представить технические характеристики ПГ КолаАЭС. 3. Провести расчет парогенератора. 4. Определить экономические затраты на модернизацию ПГ. 5. Проанализировать рабочие места в реакторном отделении на предмет выявления основных

	опасностей и вредностей, оценить степень воздействия их на персонал и природную среду. 6. Сформулировать основные выводы работы.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Принципиальная схема реакторной установки ВВЭР – 440 (1 л.) 2. Сборочный чертеж парогенератора ПГВ-213 (2 л.) 3. Детализовочный чертеж (1 л.) 4. Компоновочный чертеж парогенератора в боксе (1 л.) 5. Функциональная схема автоматического регулирования (1 л.)
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
1. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Сергейчик С.И., доцент кафедры менеджмента
2. Социальная ответственность	Амелькович Ю.А., доцент кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности
3. Автоматизация технологических процессов	Андык В.С., доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	22 июня 2016
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АТЭС	А.В. Воробьев	к.т.н., доцент		22.06.2016

Задание принял к исполнению студентка:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5012	Кель Вера Андреевна		22.06.2016

Реферат

Выпускная квалификационная работа 96 с., 10 рис., 12 табл., 28 источников.

Ключевые слова: модернизация, парогенератор, слабо перегретый пар.

Объектом исследования является ПГ энергоблока АЭС с реактором ВВЭР-440

Цель работы – спроектировать ПГ с перегревателем.

В процессе исследования проводились тепловой, конструкторский и гидравлический расчеты ПГ. Рассчитана металлоёмкость обеих конструкций ПГ.

Основные конструктивные, технологические и технико- эксплуатационные характеристики: теплоноситель – вода под давлением, на входе в ПГ давление 12,26 МПа и температура 297°C , на выходе температура 267°C ; рабочее тело – насыщенный пар с температурой $259,1^{\circ}\text{C}$.

Степень внедрения: данный проект может быть использован на энергоблоках с реактором ВВЭР-440.

Область применения: для ВВЭР- 440

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
						11
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1. ОПИСАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-213.....	15
2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ ПРОЕКТА	19
3. РАСЧЕТ ПАРОГЕНЕРАТОРА.....	21
3.1. Тепловые расчёт исходного ПГ	21
3.1.1. Расчет теплового баланса исходного парогенератора. Расход рабочего тела.t-Q диаграмма.....	23
3.1.2. Скорость теплоносителя исходного ПГ23Ошибка! Закладка не определена.	
3.1.3. Расчёт площади теплопередающей поверхности и длин трубок..	23
3.2. Тепловой расчёт модернизированного ПГ	31
3.2.1. Расчет теплового баланса модернизированного парогенератора. Расход рабочего тела. t-Q диаграмма.....	31
3.2.2. Количество трубок испарительного и перегревательного участков модернизированного ПГ	33
3.2.3. Расчёт площади теплопердающей поверхности и длин трубок....	34
3.3. Конструкторский расчет ПГ	40
3.3.1. Конструкторский расчет исходного ПГ	40
3.3.2. Конструкторский расчет модернизированного ПГ	44
3.4. Гидравлический расчёт исходного и модернизированного ПГ	47
3.4.1. Гидравлический расчёт исходного ПГ	48
3.4.2. Гидравлический расчёт модернизированного ПГ	50
4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	53
5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	62
5.1. Производственная безопасность	62
5.2. Экологическая безопасность	72
5.3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	78

5.4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	80
6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ В ПАРОГЕНЕРАТОРЕ	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	94

ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ:

ФЮРА.693100.002 ТЗ – Принципиальная схема реакторной установки ВВЭР-440.

ФЮРА.693410.003 ГЧ – Поперечный разрез парогенератора ПГВ-213п.

ФЮРА.693410.004 ГЧ – Продольный разрез парогенератора ПГВ-213п.

ФЮРА.693410.005 ВО – Компоновочный чертеж парогенератора в боксе.

ФЮРА.421000.006 С2 – Функциональная схема системы регулирования уровня в парогенераторе.

ФЮРА.693410.007 ГЧ – Узлы ПГВ-213п.

ВВЕДЕНИЕ

ВВЭР - 440 составляют заметную долю в атомной энергетике России и мире, такие как:

- 3 и 4 блоки Нововоронежской АЭС (Россия)
- Кольская АЭС (Россия)
- 1 и 2 блоки (дубльблок) Ровенской АЭС (Украина)
- АЭС Ловииса (Финляндия)
- 1, 2, 3, 4 блоки АЭС Козлодуй (Болгария)
- 1, 2, 3, 4, 5 блоки АЭС Грайфсвальд (Германия) — остановлена

после объединения Германии

- АЭС Пакш (Венгрия)
- АЭС Дукованы (Чехия)
- 3 и 4 блоки АЭС Богунице (Словакия)
- 2 блок Армянской АЭС (Армения) — 1 блок остановлен
- 1 блок АЭС Моховце (Словакия) — пущен в октябре 1998
- 2 блок АЭС Моховце (Словакия) — пущен в марте 2000

Продолжение использования данных энергоблоков планируется более 15 лет, посредством продления эксплуатации. в качестве примера можно рассмотреть Кольскую АЭС, где в июне 2018 и декабре 2018 завершаются продленные сроки эксплуатации блоков №1 и №2, но планируется их повторное продление.

1. ОПИСАНИЕ ПАРОГЕНЕРАТОРА ПГВ-213

Парогенератор ПГВ-213 предназначен для генерации сухого насыщенного пара и отвода тепла от теплоносителя первого контура. Парогенератор относится к системам нормальной эксплуатации.

Тип парогенератора – горизонтальный, однокорпусный с погруженной поверхностью теплообмена из горизонтально расположенных трубок, вваренных в коллекторы первого контура, со встроенными сепарационными устройствами, системой раздачи питательной воды и паровым коллектором.

Парогенератор состоит из следующих основных:

- корпуса;
- коллекторов первого контура;
- трубок теплообменных (теплопередающей поверхности);
- устройства подвода и раздачи основной питательной воды;
- устройства подачи питательной воды в аварийных режимах;
- сепарационных устройств;
- системы продувок и дренажа;
- опорных конструкций и элементов закрепления.

Горячий теплоноситель поступает в парогенератор по трубопроводу Ду500 в “горячий” коллектор, откуда раздается по змеевикам. Проходя внутри змеевиков, теплоноситель отдает тепло котловой воде парогенератора и, охлаждаясь, выходит в “холодный” коллектор и далее поступает в “холодную” нитку ГЦТ на всас ГЦН. Питательная вода по трубопроводу Ду250 подается в парогенератор по трубе питательной воды, откуда через сопла поступает в трубный пучок на “горячую” сторону, чем достигается частичное выравнивание паровой нагрузки по сечению парогенератора за счет конденсации части пара. Циркуляция котловой воды в парогенераторе – естественная. Пар, выходя из зеркала испарения, осушается в паровом объеме за счет гравитационных сил и поступает в жалюзийный сепаратор, где дополнительно осушается до необходимой степени. Осушенный пар выходит из сепаратора через 5 паровых патрубков в коллектор пара и далее по паропроводам – на турбину

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

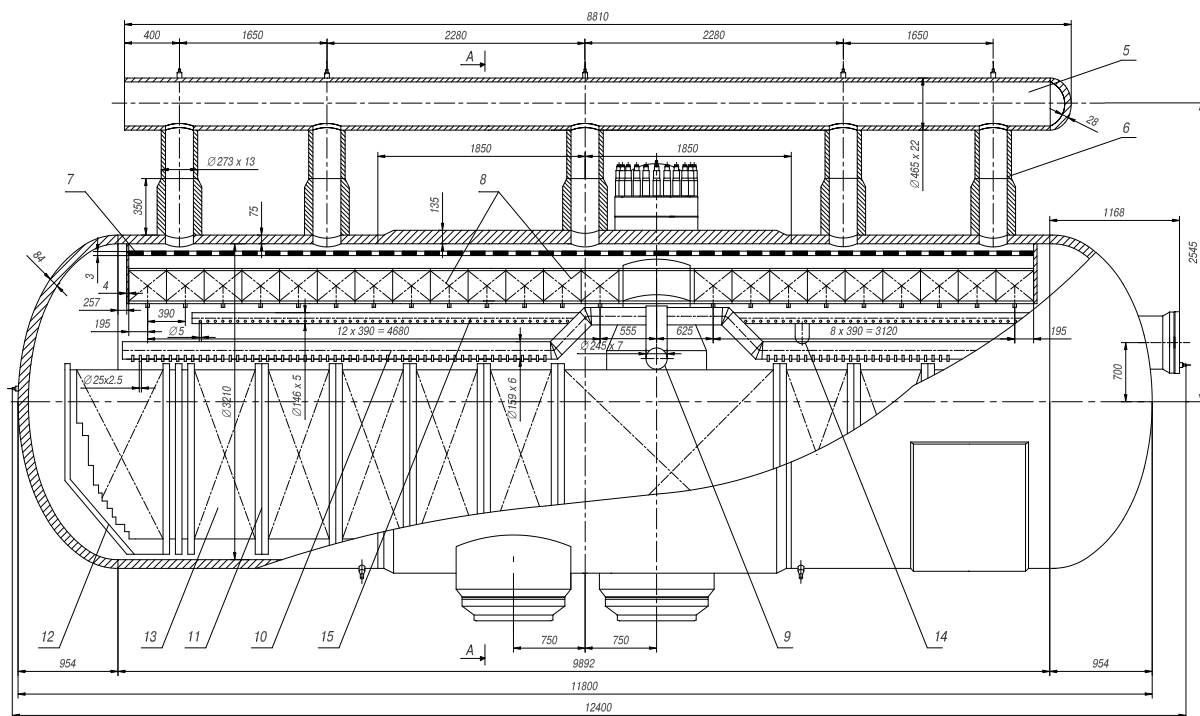


Рисунок 1 – Продольный разрез парогенератора ПГВ-213

					ФЮРА.693410.001 ПЗ		Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			16

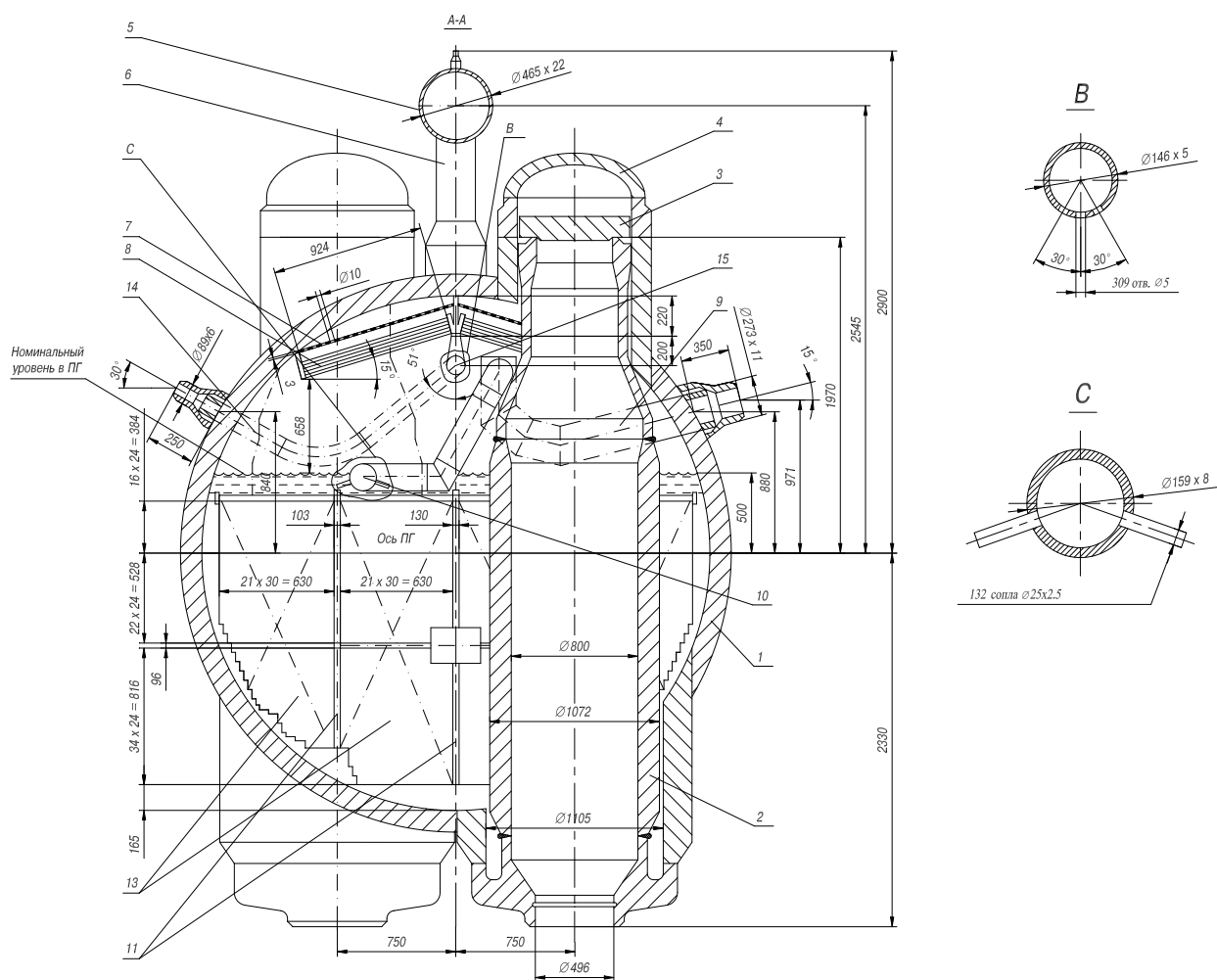


Рисунок 2 – Поперечный разрез парогенератора ПГВ-213

1- корпус; 2 - коллектор 1 контура; 3, 4 - крышки коллекторов 1 и 2 контура;
 5 - паровой коллектор; 6 - пароводводящая труба; 7 - паровой дырчатый лист;
 8 - пакеты жалюзи; 9, 10 (14, 15) - коллектор и раздающая труба питательной
 (аварийной питательной) воды; 11, 12 - поперечная и продольная стойки; 13 -
 трубный пучок

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ФЮРА.693410.001 ПЗ

Лист

17

Принципиальная тепловая схема ПГ

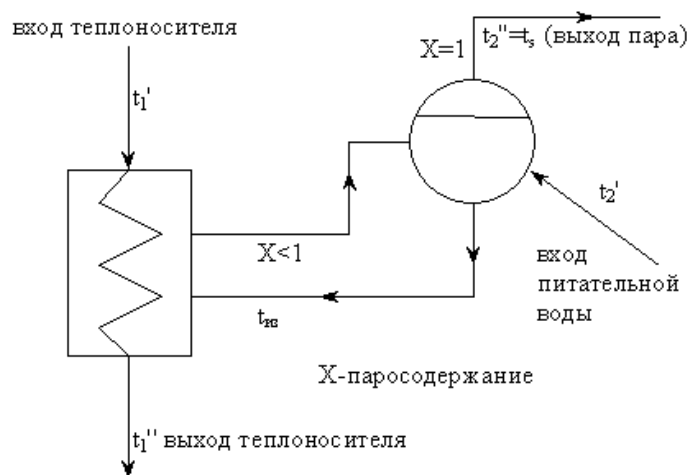


Рисунок 3 - Тепловая схема ПГ с водным теплоносителем

В выбранной конструкционной системе ПГ, питательная вода подается на "горячую" часть теплообменного пучка под дырчатый лист, где происходит частичная конденсация пара и подогрев питательной воды до температуры воды контура естественной циркуляции. Далее питательная вода попадает в опускной участок контура естественной циркуляции ПГ, где смешивается с водой, отсепарированной в жалюзийном сепараторе, поступает в межтрубное пространство теплопередающей поверхности, нагревается до температуры насыщения и испаряется на испарительном участке. Пароводяная смесь поступает в жалюзийный сепаратор, пройдя погружной дырчатый лист, где происходит отделение воды от пара.

Исходные данные

[1, п. 1.7.2., с.65]

Расход теплоносителя: $G = 1486,111 \text{ кг/с}$

Давление ТН: $P_1 = 12,26 \text{ МПа}$

Температура ТН на входе в ПГ: $t_1' = 297^\circ \text{C}$

Температура ТН на выходе в ПГ: $t_1'' = 267^\circ \text{C}$

Температура насыщения пара в ПГ: $t_s = 259,1^\circ \text{C}$

Температура питательной воды на входе в ПГ: $t_{не} = 223^\circ \text{C}$

КПД ПГ: $\eta_{ПГ} = 0,98$.

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

2. ОБОСНОВАНИЕ ТЕМЫ ПРОЕКТА

Одни из важнейших элементов на АЭС с реакторами ВВЭР и PWR являются парогенераторы (ПГ), предназначены для выработки пара на турбогенератор для производительности электроэнергии. ПГ должны надежно во всех режимах работы АЭС обеспечить охлаждение активной зоны реактора.

ПГ АЭС представляет собой единичный теплообменный аппарат или их совокупность. Этот агрегат наряду с ядерным реактором и паровой турбиной относится к основному оборудованию двухконтурной паротурбинной АЭС. Исходный ПГ состоит из подогревательного (водяной экономайзер) и паропроизводящего (испаритель) элементов.

Одним из ключевых требований к ПГ АЭС является то, что он должен вырабатывать пар необходимой чистоты, чтобы обеспечить надежность высокотемпературных пароперегревателей, а также надежную и экономичную работу турбины. соответственно высокая влажность на выходе из ПГ приводит к уменьшению КПД турбины, а также к эрозии её первых ступеней.

Из таблицы 1 и рисунка 4 видно, что интенсивная эрозия может снизить надежность рабочих лопаток вследствие утонения тела лопатки.

В этом случае напряжения растяжения в теле лопатки от действия центробежных сил могут превысить допустимую величину, что повлечет за собой отрыв лопатки.

Таблица 1 – Шероховатость поверхности лопаток в зависимости от её состояния

Состояние поверхности лопаток	Высота выступов шероховатостей, мм	
	max	min
Шлифованная и полированная	0,002	0,001
Фрезерованная	0,025	0,019
Корродированная	0,030	0,010
Занесённая солями	0,400	0,100
Эродированная	5...10	0,030

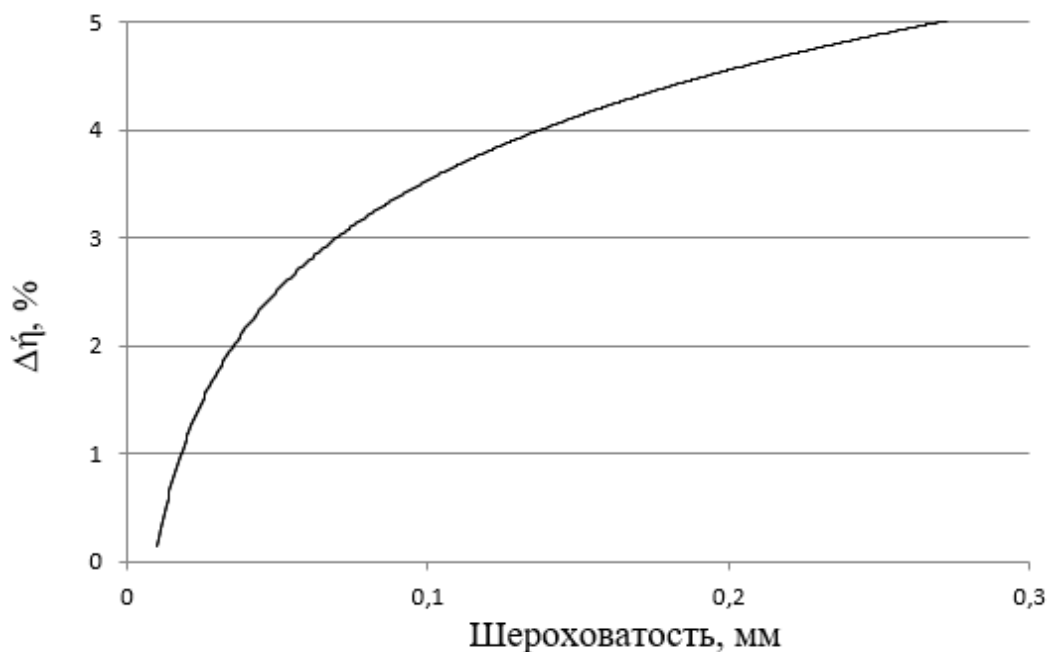


Рисунок 4 – Влияние шероховатости лопаток на снижение КПД ступени[28]

Применение слабоперегретого пара позволит избежать отрицательных моментов от высокой влажности, тем самым выполняя актуальную задачу - увеличение эффективности установки в целом. Одним из способов является реконструкция ПГ за счёт введения пароперегревательной поверхности.

Оценка целесообразности и эффективности такой реконструкции является целью данной ВКР.

4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Рассмотрим экономический эффект от добавления перегревательного участка в ПГ ВВЭР-440.

Диаметр трубок испарительного участка $d_H = 16 \text{ мм}$, толщина трубки $\delta_{cm} = 1,4 \text{ мм}$; диаметр трубок перегревательного участка $d_H = 11,8 \text{ мм}$, толщина трубки $\delta_{cm} = 1,4 \text{ мм}$, плотность $\rho_{CT}^{08X18H10T} = 7,9 \text{ т / м}^3$; плотность $\rho_{CT}^{22K} = 7,8 \text{ т / м}^3$; цена стали марки 08X18H10T $C_{08X18H10T}^{CT} = 210 \text{ тыс.руб / т}$; цена стали марки 22К $C_{22K}^{CT} = 27 \text{ тыс.руб / т}$.

Расчет массы трубок, корпуса и коллектора модернизированного ПГ

Масса всех трубок модернизированного ПГ:

$$M_{TP} = 5153 \cdot 7,9 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,016^2 - 0,0014^2) \cdot 8,3 + 3999 \cdot 7,9 \cdot \frac{\pi}{4} \times \\ \times (0,0118^2 - 0,0014^2) \cdot 8,3 = 33,691 \text{ т.}$$

Объем центральной и боковой обечаек и днища:

$$V_{Ц.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{Ц.ОБ}^H)^2 - (d_{Ц.ОБ}^{BH})^2] \cdot l_{Ц.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(4,072)^2 - (3,82)^2] \cdot 4,2 = 7,42 \text{ м}^3;$$

$$V_{БОК.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{БОК.ОБ}^H)^2 - (d_{БОК.ОБ}^{BH})^2] \cdot l_{БОК.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(3,984)^2 - (3,82)^2] \cdot 2,36 = 2,38 \text{ м}^3;$$

$$V_{ДН.} = \left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [(r_{ДН}^H)^2 - (r_{ДН}^{BH})^2] \right] \cdot 0,5 = \left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [1,99^2 - 1,91^2] \right] \cdot 0,5 = 0,65 \text{ м}^3.$$

Масса корпуса модернизированного ПГ:

$$M_{КОР} = (7,42 + 2 \cdot 2,38 + 2 \cdot 0,65) \cdot 7,8 = 105,17 \text{ т.}$$

Объем и масса модернизированного коллектора ТН:

$$V_{КОЛ.ТН} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{КОЛ.ТН}^H)^2 - (d_{КОЛ.ТН}^{BH})^2] \cdot l_{КОЛ.ТН} = \frac{\pi}{4} \cdot [1,24^2 - 0,8^2] \cdot 2,9 = 3,5 \text{ м}^3;$$

$$M_{КОЛ.ТН} = 2 \cdot 3,5 \cdot 7,9 = 55,33 \text{ т.}$$

Масса деталей из стали марки 08Х18Н10Т:

$$(M_{TP} + M_{КОЛ.ТН}) = (33,691 + 55,33) = 89,021 \text{ т.}$$

Масса деталей из стали марки 22К:

$$M_{КОР} = 105,17 \text{ т.}$$

Расчет массы трубок, корпуса и коллектора исходного ПГ

Масса всех трубок:

$$M_{TP} = 5536 \cdot 7,9 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,016^2 - 0,0014^2) \cdot 8,8 = 24,715 \text{ т.}$$

Объем центральной и боковой обечаек и днища:

$$V_{Ц.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{Ц.ОБ}^H)^2 - (d_{Ц.ОБ}^{BH})^2] \cdot l_{Ц.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(3,422)^2 - (3,21)^2] \cdot 3,7 = 4,09 \text{ м}^3;$$

$$V_{БОК.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{БОК.ОБ}^H)^2 - (d_{БОК.ОБ}^{BH})^2] \cdot l_{БОК.ОБ} = \frac{\pi}{4} \cdot [(3,35)^2 - (3,21)^2] \cdot 3,096 = 2,23 \text{ м}^3;$$

$$V_{ДН.} = \left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [(r_{ДН}^H)^2 - (r_{ДН}^{BH})^2] \right] \cdot 0,5 = \left[\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot [1,673^2 - 1,605^2] \right] \cdot 0,5 = 0,47 \text{ м}^3.$$

Масса корпуса ПГ:

$$M_{КОР} = (4,09 + 2 \cdot 2,23 + 2 \cdot 0,47) \cdot 7,8 = 74 \text{ т.}$$

Объем и масса коллектора ТН:

$$V_{КОЛ.ТН} = \frac{\pi}{4} \cdot [(d_{КОЛ.ТН}^H)^2 - (d_{КОЛ.ТН}^{BH})^2] \cdot l_{КОЛ.ТН} = \frac{\pi}{4} \cdot [1012^2 - 0,8^2] \cdot 2,443 = 1,97 \text{ м}^3;$$

$$M_{КОЛ.ТН} = 2 \cdot 1,97 \cdot 7,9 = 31,11 \text{ т.}$$

Масса деталей из стали марки 08Х18Н10Т:

$$(M_{TP} + M_{КОЛ.ТН}) = (24,715 + 31,11) = 55,825 \text{ т.}$$

Масса деталей из стали марки 22К:

$$M_{КОР} = 74 \text{ т.}$$

					ФЮРА.693410.001 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		54

Расчет увеличения капиталовложений в связи с изменением количества используемых материалов в ПГ

$$\Delta C_{\text{материалов}} = C_{08X18H10T}^{CT} \cdot (M_{08X18H10T(МОД)}^{CT} - M_{08X18H10T(ИСХ)}^{CT}) + C_{22K}^{CT} \cdot (M_{22K(МОД)}^{CT} - M_{22K(ИСХ)}^{CT}) = 210 \cdot (89,021 - 55,825) + 27 \cdot (105,17 - 74) = 7,813 \text{ млн. рублей}$$

Необходимо учесть дополнительную обработку материалов (прошивка слитка, прокат труб). Расходы на дополнительную обработку равны 15-ти процентам от основной стоимости материалов.

Тогда полное изменение стоимости материалов:

$$C_n = \Delta C_{\text{материалов}} \cdot 1,15 = 7,813 \cdot 10^6 \cdot 1,15 = 8,985 \text{ млн. рублей}.$$

Определение расхода ядерного топлива

Качество пара значительно влияет на относительный внутренний КПД ступеней турбины и, соответственно, на относительный внутренний КПД всей турбины. В ступенях турбины возможен прирост влажности вплоть до 6,6 процентов. При этом относительный внутренний КПД ступени может уменьшиться на 10 процентов. Уменьшение относительного внутреннего КПД из-за износа проточной части турбины происходит постепенно. Также это уменьшение зависит от номера ступени и цилиндра турбины. Так, больше всего уменьшается КПД последней ступени ЦНД и последней ступени ЦВД. В свою очередь, КПД первых ступеней ЦНД не зависит от влажности (пар на входе перегретый). Расчет данного эффекта не представляется возможным.

Согласно расчетам, влажность пара на входе в турбину несколько уменьшается. В связи с этим относительный внутренний КПД турбины увеличивается по сравнению с исходным ПГ без перегревательного участка.

Кпд по отпуску электроэнергии для энергоблока типа ВВЭР составляет около 32 %.

Кпд по отпуску электроэнергии при улучшении качества пара увеличивается и составит около 34 %.

Годовой расход ядерного горючего:

$$B_{год} = \frac{Q_p \cdot 365 \cdot K_y}{\bar{B}}.$$

Где:

Q_p - тепловая мощность реактора, МВт.

$K_y = \frac{h_y}{8670}$ - коэффициент использования установленной мощности

АЭС.

h_y - число часов установленной мощности (для АЭС принимается равным 6000-7000 часов в год).

$\bar{B}$ - средняя глубина выгорания ядерного горючего, МВт·сут/т.

Для реактора типа ВВЭР-440 на 1 блоке Кольской АЭС было достигнуто выгорание :

$$\bar{B} = 19810 \frac{МВт \cdot сут}{т}.$$

Для блока при нормальном качестве генерируемого пара:

$$B = \frac{\frac{440}{0,32} \cdot 365 \cdot \frac{7000}{8670}}{19810} = 20,5 \text{ т.}$$

При улучшении качества пара:

$$B = \frac{\frac{440}{0,34} \cdot 365 \cdot \frac{7000}{8670}}{19810} = 19,3 \text{ т.}$$

Очевидно, что при улучшении качества пара увеличивается экономичность блока по производству электроэнергии и уменьшается расход топлива

Оценка стоимости ядерного топлива, издержек на топливо

Для вычисления годовых издержек необходимо оценить стоимость горючего для реактора ВВЭР с учетом его транспортировки и др.

Затраты АТЭЦ на ядерное топливо принято рассчитывать исходя из установленной цены ТВС со свежим топливом, поставляемых на АЭС, без

учета стоимости урана и плутония, накопленного в отработанном топливе и расходов по химической переработке отработанного топлива.

Удельная стоимость ядерного топлива за период кампании с однородной топливной загрузкой (при учёте курса доллара на 9.01.16. 1 дол=59,56 руб):

$$\bar{C}_m = \bar{C}_U + \bar{C}_{об.У} + \bar{C}_{изг.} + \bar{C}_{транс} = 90 + 700 + 160 + 3 = 953 \text{ дол / кг} = 56761 \text{ рублей / кг.}$$

Где:

$\bar{C}_U$ - удельная стоимость исходного продукта (природного урана);

$\bar{C}_{об.У}$ - удельная стоимость обогащенного урана;

$\bar{C}_{изг.}$ - удельная стоимость изготовления ТВС, включая стоимость КМ;

$\bar{C}_{транс}$ - удельная стоимость транспортировки ТВС к АЭС.

Издержки на ядерное горючее для АЭС с реакторами на тепловых нейтронах можно представить в виде (без учета стоимости отработанного топлива):

$$I_m = \bar{C}_m \cdot B_{год}.$$

Вычислим годовые издержки на топливо для обоих вариантов:

$$I_{m1} = 953 \cdot 20,5 \cdot 10^3 = 19,54 \text{ млн.дол.} = 1,164 \text{ млрд.рублей.}$$

$$I_{m2} = 953 \cdot 19,3 \cdot 10^3 = 18,39 \text{ млн.дол.} = 1,095 \text{ млрд.рублей.}$$

Таким образом, экономия издержек на топливо в год:

$$\Delta I_m = 1,164 - 1,095 = 0,069 \text{ млрд.рублей.}$$

Расчет экономического эффекта модернизации

Для оценки экономической эффективности инвестиций в энергетические объекты необходимо учитывать фактор времени. Под последним понимается учет разновременности осуществления инвестиций, производственных издержек и получения прибыли.

В качестве критериев экономической эффективности инвестиций наибольшее распространение получили чистый приведенный доход, индекс

рентабельности проекта, срок окупаемости и внутренняя норма доходности проекта.

Капиталовложения в связи с полной заменой парогенератора вычислим основываясь на стоимости исходного ПГ и разности капиталовложений в материалы корпуса, коллектора и теплообменных трубок(с учётом их обработки).

Стоимость исходного ПГ из (6.с21) $K_1 = 993700$ рублей. Но в силу того, что источник датирован 1984г., то примем коэффициент пересчёта равным 100, соответственно будем считать, что капиталовложения в исходный ПГ в наше время составил бы $K_1 = 993,700$ млн.рублей.

$$K = K_1 + \Delta C_{\text{материалов}} = 993,7 + 8,985 = 1002,685 \text{ млн.рублей.}$$

Чистый приведенный доход (NPV).

В соответствии с этим критерием лучшим проектом будет тот, который обеспечивает большие значения ЧПД:

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+r)^t},$$

где $D_t = Pr_t - K_t$ - чистый доход в t -ом году существования проекта;

Pr_t, K_t - соответственно чистая прибыль и инвестиции в t -ом году;

r - ставка дисконтирования.

При модернизации действующего объекта энергетики $r = 0,15$.

Предположим, что блок проработал 10 лет. Тогда оставшееся время работы блока - 20 лет.

Принимаем, что капиталовложения в модернизацию единовременны.

$$\begin{aligned} NPV &= \sum_{t=1}^{20} \frac{D_t}{(1+0,15)^t} - K = \sum_{t=1}^{20} \frac{\Delta I_m}{(1+0,15)^t} - K = \\ &= \sum_{t=1}^{20} \frac{69}{(1+0,15)^t} - 1002,685 = -570,791 \text{ млн.руб.} \end{aligned}$$

Значение ЧПД отрицательно, что означает, что в результате реализации проекта за последующие 20 лет доход не будет получен с учетом фактора обесценивания денег.

Срок окупаемости инвестиций ($T_{ок}$).

Срок окупаемости инвестиций с учетом фактора времени может быть найден путем решения следующего уравнения относительно $T_{ок}$:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{ок}} \frac{D_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{T_{ок}} \frac{\Delta I_m}{(1+0,15)^t} - K = 0;$$

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_{ок}} \frac{69}{(1+0,15)^t} - 1002,685 = 0.$$

Решая уравнение получаем:

$$T_{ок} \succ 100 \text{ лет.}$$

При учёте того условия, что объекты АЭС используются в среднем не более 30 лет, то можно сделать вывод, что данная модернизация никогда не окупится.

Индекс рентабельности проекта (PI).

Индекс рентабельности инвестиционного привлекательного проекта должен быть больше единицы:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^t \frac{P_t}{(1+r)^t}}{K} = \frac{\sum_{t=1}^{20} \frac{69}{(1+0,15)^t}}{1002,685} = 0,514.$$

Согласно с предыдущими результатами о некупаемости проекта, получено очередное тому подтверждение, так как индекс рентабельности получился меньше единицы. Как следствие можно сделать вывод, что проект не является рентабельным.

Внутренняя норма доходности (ВНД) определяется как значение ставки дисконтирования r , при которой выполняется равенство:

$$\sum_{t=1}^T \frac{P_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^{T_{cmp}} \frac{K_t}{(1+r)^t};$$

$$\sum_{t=1}^{22} \frac{69}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^2 \frac{1002,685}{(1+r)^t} \longrightarrow r = -3,2\%.$$

Экономический смысл ВНД следующий: значение ВНД соответствует действительной эффективной доходности инвестиций в проект с учетом фактора времени. Обычно проект считается экономически эффективным, если ВНД превышает действующее на момент оценки значение ставки по депозитам надежного банка.

Определим экономический эффект от добавления перегревательного участка. В общем случае:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_B - \mathcal{Z}_H,$$

где $\mathcal{Z}_B$, $\mathcal{Z}_H$ - приведенные затраты на старую и новую технику. Приведенные затраты на старую технику равны ежегодным эксплуатационным издержкам для базовой техники $\mathcal{Z}_B = I_B$. Приведенные затраты на новую технику:

$$\mathcal{Z}_H = K \cdot r + I_H.$$

Где:

I_H - ежегодные эксплуатационные издержки для новой техники.

Таким образом:

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = \mathcal{Z}_B - \mathcal{Z}_H &= (I_H + \Delta I_T) - (I_H + K \cdot r) = \Delta I_T - K \cdot r = \\ &= 69 - 1002,685 \cdot 0,15 = -81,40275 \text{ млн.руб.} \end{aligned}$$

Таблица 5 – Калькуляция на замену ПГ

Наименование статей	Размерность	Показатели
Капиталовложения	Млн.руб	1002,685
Экономия издержек на топливо	Млн.руб	69
Чистый приведенный доход	Млн.руб	-570,791
Срок окупаемости проекта	год	-
Индекс рентабельности проекта	-	0,514
Годовой экономический эффект	Млн.руб	-81,402075
Внутренняя норма доходности	-	-0,032

Вывод: замена исходного парогенератора модернизированным нецелесообразна с экономической точки зрения до тех пор, пока исходный не доработает свой ресурс.